

F-003

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
22. November 2001 (22.11.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/88471 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01B 11/00**,
21/04

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/05598

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. Mai 2001 (16.05.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
100 23 845.9 16. Mai 2000 (16.05.2000) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **STEINBICHLER OPTOTECHNIK GMBH**
[DE/DE]; Am Bauhof 4, 83115 Neubuern (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **MAIDHOF, Armin**
[DE/DE]; Spielhahnstr. 6, 83059 Kolbermoor (DE).
ANDRÄ, Peter [DE/DE]; Griesser Weg 11, 83115
Neubuern (DE). **ADLHART, Manfred** [DE/AT]; Bich-
lach 27, A-6345 Kössen (AT). **KAUS, Michael** [DE/DE];

Finkenweg 5E, 64625 Bensheim/Auerbach (DE). **BASEL,**
Markus [DE/DE]; Raunheimerstr. 13, 65474 Bischof-
sheim (DE). **THOSS, Frank** [DE/DE]; Ulmenstr. 4,
83115 Neubuern (DE). **LAZAR, Markus** [DE/DE];
Hofpoint 21, 83131 Nussdorf (DE). **NASSWETTER,**
Thomas [DE/DE]; Mühlhahlweg 9, 83064 Raubling (DE).
STEINBICHLER, Hans [DE/DE]; Sonnwendstr. 1,
83115 Neubuern (DE).

(74) Anwälte: **GOSSEL, Hans, Karl** usw.; Lorenz Seidler
Gossel, Widenmayerstrasse 23, 80538 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).

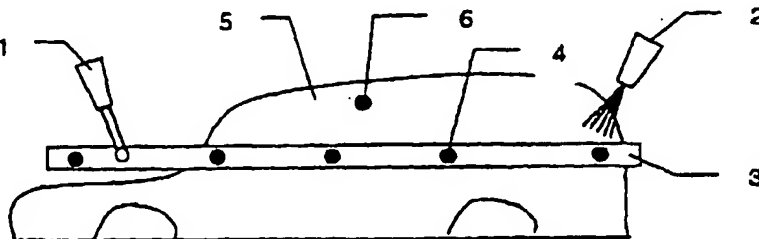
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe
der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING THE 3D PROFILE OF AN OBJECT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM BESTIMMEN DER 3D-FORM EINES OBJEKTES



(57) Abstract: The invention relates to a method for determining the 3D profile of an object. In order to improve a method of this type, several sections of the object (5) are measured. During at least one measuring operation, at least one reference object (4) is measured. The measured sections of the object (5) are combined (1).

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren dient zum Bestimmen der 3D-Form eines Objektes. Um ein derartiges Verfahren zu verbessern, werden mehrere Bereiche des Objekts (5) gemessen. Bei mindestens einer Messung wird mindestens ein Referenzobjekt (4) gemessen. Die gemessenen Bereiche des Objekts (5) werden miteinander verknüpft.

WO 01/88471 A1

Verfahren und Vorrichtung zum Bestimmen der 3D-Form eines Objektes

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bestimmen der 3D-Form eines Objektes. Das Objekt kann auch als Meßobjekt bezeichnet werden. Durch das Verfahren und die Vorrichtung können insbesondere die räumlichen 3D-Koordinaten von Oberflächenpunkten des Objektes bzw. Meßobjektes bestimmt werden.

Für die Erfassung der Form von Oberflächen werden vor allem taktile und optische Verfahren eingesetzt. Optische 3D-Meßverfahren erlauben im Vergleich zu taktil-antastenden Koordinatenmeßmaschinen eine berührungslose, flächenhafte und zeiteffiziente Vermessung komplizierter Objektformen verschiedenster Größe.

Für die optische Meßtechnik existieren mittlerweile eine Vielzahl optischer Sensoren mit unterschiedlichen Eigenschaften. Z.B. wird die 3D-Form von Oberflächen häufig flächenhaft mit optischen Triangulations-Verfahren (Streifenprojektion, Moiré) vermessen. Es sind aber auch vielfältige 3D-Meßanordnungen mit kohärentem Licht (Laser-Scanning-Verfahren, interferometische Contouring-Verfahren) bekannt.

Taktile und optische Verfahren werden auf dem Gebiet der dreidimensionalen Koordinaten-Meßtechnik, bei der flächenhaften 3D-Formtreue- und Oberflächenprü-

fung technischer Objekte, bei der Inspektion und Positionskontrolle von Bauteilen, insbesondere von Kraftfahrzeugen, Modell- und Werkzeugformen benötigt.

Für stark-strukturierte Objekte und für ausgedehnte, großflächige Objekte besteht aufgrund der begrenzten Meßvolumina und des begrenzten Auflösungsvermögens der zur Verfügung stehenden dreidimensionalen Koordinatenmeßgeräte (im nachfolgenden als 3D-KMG bezeichnet) die Anforderung, die Meßdaten einzelner Teilmeßfelder mosaikartig zu der 3D-Form des Gesamtobjektes möglichst ohne Verlust an Genauigkeit und Objektstrukturauflösung zusammenzusetzen.

Bekannt sind eine Vielzahl von (taktilen und optischen) Meßverfahren und 3D-Sensoren zur 3D-Koordinatenmessung bzw. 3D-Formerfassung von Objekten. Die vorgeschlagenen Meß- und Auswertestrategien sind außerordentlich vielfältig. Wichtige Meßprinzipien bei den optischen Meßverfahren sind die Triangulation und die Interferometrie. Für die Formerfassung und Oberflächenkontrolle besitzen die Triangulations- und Konturmeßverfahren die größte praktische Bedeutung. Für viele Vermessungsaufgaben ist eine flächenhafte und somit simultane Erfassung von Formdaten der gesamten Oberfläche vorteilhaft. Bildgebende Konturmeßverfahren (Streifenprojektion, Moiré, interferometrische Contouring-Verfahren) werden als sogenannte Feldmeßverfahren für derartige Aufgaben eingesetzt. Bei den flächenhaft messenden, optischen Meßsystemen sind insbesondere Streifenprojektions-Verfahren mit einer Matrixkamera und einem Projektor für uncodierte oder codierte Streifen bekannt, bei denen die dreidimensionalen Koordinaten der Oberflächenpunkte aus den Bildkoordinaten des Kamerabildes und den an der jeweiligen Bildkoordinate detektierten Streifennummern auf der Basis geometrischer Modelle des Meßaufbaus berechnet wird. Ebenso sind an die Photogrammetrie angelehnte Verfahren unter Verwendung mehrerer Kameras und Projektoren bekannt. Punkt- und linienweise arbeitende Lasertriangulationsverfahren werden durch zum Teil aufwendige Scanning- und Handhabungsmechanismen für eine flächenhafte Oberflächenantastung erweitert. Bildgebende Triangulationsverfahren aus dem Bereich der Photogrammetrie erlauben die Vermessung einer Vielzahl von Einzelpunkten mit hoher Genauigkeit.

Bei allen 3D-Meßverfahren und -systemen tritt ein gemeinsames, prinzipbedingtes Problem auf, nämlich das Problem, daß für die vollständige Erfassung eines Meßobjektes, z.B. bei der Rundum-Vermessung, eine einzelne Flächenvermessung mittels 3D-KMG nicht ausreichend ist. Deshalb werden Objekte aus unterschiedlichen Richtungen eines in der Position veränderbaren 3D-KMG oder mehrerer 3D-KMG aufgenommen und vermessen. Die räumliche Anordnung von 3D-KMG und Objekt kann sich ändern, z.B. bei Neupositionierung des Meßgerätes oder des Objektes. Sind die entsprechenden Positionen des 3D-KMG zum Objekt bekannt, können zum Zwecke der Gesamtojektrekonstruktion die entsprechenden Einzelmessungen mosaikartig verknüpft werden. Die durch Einzelmessungen im jeweiligen Geräte-Koordinatensystem (nachfolgend als Geräte-KOS bezeichnet) erfaßten 3D-Objektkoordinaten werden mittels einer geometrischen Transformationsvorschrift in das raumfeste Koordinatensystem der 3D-Meß-Anordnung, dem Referenz-Koordinatensystem (nachfolgend als Referenz-KOS bezeichnet), transformiert.

Folgende Verfahrensschritte werden angewendet:

1. Ermittlung der unbekannten Parameter der Transformationen zwischen Geräte-KOS und Referenz-KOS;
2. Durchführung der Transformation auf die Datensätze der einzelnen Meßfelder, das heißt Berechnung der 3D-Koordinaten im Referenz-KOS mit Hilfe der berechneten Transformationsparameter.

Ein meßtechnisches Problem besteht darin, daß bei den bisher bekannten Verfahren Ungenauigkeiten der Positionswerte im Ergebnis zu Klaffungen zwischen den Einzelfeldern sowie zu Genauigkeitsverlusten über die gesamte Objektdimension führen. Dieses Problem soll durch die vorliegende Erfindung gelöst werden.

Für die Ermittlung der Meßgerätepositionen und Verknüpfung der Einzelmeßfelder sind unterschiedliche Verfahren und Systemlösungen bekannt.

Bekannt sind neben taktilen Tastern vor allem optische 3D-Sensoren, die mittels einem mechanischen Führungssystem (z.B. Mehrachs-CNC-, Koordinatenmeßmaschinen, Meßarm, Roboter) in die erforderlichen Meßstellungen positioniert und zum Objekt ausgerichtet werden. Dem Führungssystem werden die Positionswerte vorgegeben (interne Glas-Maßstäbe), aus denen die für die Verknüpfung der Einzelmeßfelder anzuwendende Transformationsvorschrift ermittelt wird. Die Genauigkeit der Gesamtvermessung stellt hohe Anforderungen an die Ausführung der Bewegungsmechanik. Nachteil ist der hohe konstruktive und kostenmäßige Aufwand für die Erstellung des Führungs- und Meßsystems. Trotz des Aufwandes verbleiben gerade bei mehrachsigen Positioniersystemen Restfehler und Klaffungen zwischen den Meßdaten in signifikanter Höhe. Ein hoher zeitlicher Aufwand entsteht durch die Definition der Bahnbewegung, des Meßvolumens und der Verfahrgeschwindigkeiten für die CNC-Maschine. Des weiteren muß das Objekt zum Meßsystem gebracht werden, das heißt es ist keine mobile Messung möglich. Spezielle Ausführungen betreffen Sensoren, die an einem beweglichen „Meßarm“ montiert sind (z.B. Artikulationsarm). Zwar erlauben diese durch einfachen Transport eine mobile Messung, jedoch ist der Objektmeßbereich auf etwa 1 m beschränkt.

Bekannt sind des weiteren Systeme, bei denen der Sensor (oder taktile Taster) per Hand frei oder unterstützt durch eine Bewegungsmechanik über das Objekt geführt wird und dabei Messungen ausführt. Die Bewegung und Position des Sensors wird über ein externes (z.B. optoelektronisches) raumfestes Referenzmeßsystem erfaßt, deren Positionsdaten zur Verknüpfung der Einzelmessungen verwendet werden. Diese Lösung stellt hohe Anforderungen an die Genauigkeit des Referenzmeßsystems. Die Mobilität des Systems wird dadurch eingeschränkt, daß sich der Sensor immer im Meßbereich des Referenzmeßsystems befinden muß.

Des weiteren sind photogrammetrische Verfahren und Systeme bekannt, die die räumliche Lage einer Kamera (oder eines Projektors) zu mehreren sichtbaren Refe-

renzpunkten bestimmen können, deren Koordinaten im Raum gegeben sind (räumlicher Rückwärtsschritt). Außerdem sind photogrammetrische Verfahren und Systeme bekannt, die mehrere räumliche Positionen einer Kamera (oder eines Projektors) oder räumliche Positionen mehrerer Kameras (oder Projektoren) zueinander bestimmen können, sofern die aus verschiedenen Richtungen aufgenommenen Grauwert- und Phasenbilder mehrere gemeinsame Meßpunkte z.B. in Form von Meßmarken enthalten, deren Koordinaten vorab nicht bekannt sein müssen (Bündelausgleich). Bei diesem Verfahren werden zusätzlich zu den Lagen der Kameras oder Projektoren auch die Koordinaten dieser Meßpunkte berechnet (Simultankalibrierung). Als Maßstab wird eine Längenreferenz eingeführt.

Weiterhin sind photogrammetrische Orientierungsverfahren bekannt, die die räumliche Lage eines optoelektronischen 3D-Sensors (bestehend aus mindestens einer Kamera und einem Projektor), einer Kamera oder eines Projektors zu mehreren sichtbaren Referenzpunkten bestimmen können, deren Koordinaten im Raum gegeben sind. Ein zum Meßobjekt ortsfestes Referenznetz von einzelnen Meßpunkten ermöglicht eine Zusammensetzung der Meßdaten einzelner Teilmessungen. Es ist bekannt, daß derartige Referenzpunkte z.B. in Form von Meßmarken sowohl auf dem Objekt selbst oder außerhalb des Objektes, z.B. auf externen Meßkäfigen bzw. Kulissen angebracht werden (DE 198 40 334 A1, DE 195 36 294 A1).

Voraussetzungen für eine ausreichend genaue Lagebestimmung von optoelektronischen Sensoren mittels Referenznetz sind eine Mindestanzahl von drei bis vier Meßmarken in einer Sensoraufnahme sowie deren möglichst gleichmäßige Verteilung im Meßfeld. Somit müssen zur Vermessung ausgedehnter Objekte eine hohe Anzahl an codierten und uncodierten Meßmarken verwendet werden. Das Anbringen dieser Meßmarken und gegebenenfalls ihre Entfernung sind deshalb sehr zeitaufwendig (hoher Arbeitsaufwand). Außerdem werden wesentliche Teile der Oberfläche des Meßobjektes durch die aufgeklebten Marken oder den verwendeten Meßkäfig bzw. der Kulisse verdeckt. Können bei komplex-strukturierten, das heißt nicht flächenhaften Objekten die Mindestanzahl an Meßmarken oder deren gleichmäßige Verteilung im Meßfeld nicht gewährleistet werden, so läßt sich das Objekt

nicht vollständig vermessen. Bei Meßobjekten mit einer räumlichen Ausdehnung von mehr als 1 Kubikmeter werden Meßkäfige bzw. Kulissen aufgrund der notwendigen Ausdehnung und des Gewichts unhandlich und schwierig zu transportieren. Der Vorteil eines mobilen Meßsystems geht somit verloren. Einbußen an Genauigkeit resultieren aus einer mangelhaften Kulissenstabilität, insbesondere wenn deren Masse reduziert wird. Das Einmessen der Marken erfordert in jedem Fall die Verwendung eines zusätzlichen Meßsystems und damit einen erhöhten Arbeitsaufwand.

Bekannt sind Verfahren zur sogenannten Registrierung von vor allem durch optische Feldmeßverfahren gewonnenen 3D-Datensätzen (auch als Matching bezeichnet), die aus sich überlappenden 3D-Datensätzen die Lage zweier 3D-KMG zueinander oder die Lage zweier Positionen eines beweglichen 3D-KMG gewinnen. Diese Verfahren werden auch für die Registrierung gemessener 3D-Datensätze auf vorgegebene CAD-Modelle dieser Objekte zum Zwecke des Soll-Ist-Vergleiches eingesetzt. Für die Registrierung von 3D-Datensätzen werden numerische Ausgleichsverfahren angewendet, die die gesuchte Transformation vom einen auf den anderen 3D-Datensatz, das heißt die Transformationsparameter, berechnen. Damit kann die Transformation zwischen den räumlich veränderten Geräte-KOS ausgeführt werden. In der Regel wird ein Geräte-KOS zum Referenz- bzw. Bezugs-KOS definiert, so daß die 3D-Daten unterschiedlicher Geräte-KOS auf dieses Referenz-KOS transformiert werden können. Im Ergebnis liegt eine einheitliche Oberflächenbeschreibung mit 3D-Objektkoordinaten im Referenz-KOS vor.

Registrierverfahren setzen eine ausreichende Überlappung der einzelnen Meßfelder und eine ausreichende Strukturierung der Objektoberfläche voraus. Ansonsten können die einzelnen Transformationen nicht eindeutig und nicht genau genug bestimmt werden. Nachteilig ist somit die begrenzte Genauigkeit über das Gesamtobjekt und die Abhängigkeit der Meßergebnisgüte von der Beschaffenheit des Objektes. Bei glatten Objektoberflächen versagt das Verfahren gänzlich und kann nicht angewendet werden (keine eindeutige Lösung der Transformation).

Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes Verfahren und eine verbesserte Vorrichtung der eingangs angegebenen Art vorzuschlagen.

Bei einem Verfahren zum Bestimmen der 3D-Form eines Objektes wird diese Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Gemäß der Erfindung werden mehrere Bereiche des Objektes gemessen. Unter mehreren Bereichen sind dabei mindestens zwei Bereiche zu verstehen. Durch die Messung werden die 3D-Koordinaten des Objektes bzw. der Oberfläche des Objektes bestimmt. Bei mindestens einer Messung wird dabei mindestens ein Referenzobjekt gemessen. Die gemessenen Bereiche des Objektes werden miteinander verknüpft. Diese Verknüpfung, die auch als Registrierung bezeichnet werden kann, erfolgt in Bezug auf ein Koordinatensystem. Das Referenzobjekt befindet sich im allgemeinen in einer Position, deren relative Lage zu dem Objekt unbekannt ist. Das erfindungsgemäße Verfahren setzt nicht voraus, daß die Position des Referenzobjekts zum Objekt vorgegeben ist. Das Referenzobjekt muß also nicht in einer bestimmten, vorgegebenen Position zum Objekt positioniert sein. Während der Messung muß das Referenzobjekt allerdings die Position, in die es gebracht worden ist und in der es sich befindet, beibehalten. Während der Messung befindet sich das Referenzobjekt also in einer gleichbleibenden (fixierten, festen, stabilen) Position zum Objekt.

Bei dem Referenzobjekt kann es sich um ein vorab bereits vermessenes Referenzobjekt handeln. Die Positionen und/oder Abstände der Referenzobjekte im Raum können also bekannt sein, beispielsweise durch einen Vorabvermessung. Es ist allerdings auch möglich, daß das oder die Referenzobjekte vorab nicht vermessen, also vorerst unbekannt sind. Derartige Referenzobjekte, deren Positionen und/oder Abstände vorab nicht bekannt sind, werden im Folgenden als Hilfsobjekte bezeichnet. Es handelt sich dabei allerdings um Referenzobjekte im Sinne der Erfindung.

Bei einer Vorrichtung zum Bestimmen der 3D-Form eines Objekts wird die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe gelöst durch ein 3D-Koordinatenmeßgerät (3D-KMG), das insbesondere mechanisch-taktil und/oder optisch-berührungslos arbei-

ten kann, mindestens ein Referenzobjekt und einen Rechner zum Verknüpfen (Registrieren) der gemessenen Bereiche des Objekts.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Durch die Erfindung werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Koordinatenmessung mit optischen und/oder taktilen 3D-Koordinatenmeßgeräten (unter Verwendung von 3D-Referenzen) geschaffen. Das technische Anwendungsgebiet besteht in der Bestimmung der ganzheitlichen 3D-Form oder der 3D-Gestalt von Körpern oder Objekten im Raum oder sogar kompletten Szenen (Meßobjekt), zusammengesetzt aus mehreren Meßfeldern von mindestens einem insbesondere optischen und/oder taktilen Koordinatenmeßgerät, das die 3D-Oberflächenkoordinaten liefert, und mit mindestens einem Referenzobjekt bzw. Referenzkörper.

Der Träger des Referenzobjekts kann auch das Meßobjekt selbst sein. Das oder die Referenzobjekte können sich auf dem Meßobjekt befinden. Es ist allerdings auch möglich, daß sich das oder die Referenzobjekte außerhalb des Meßobjekts befinden.

Das zur Durchführung des Verfahrens dienende optische und/oder taktile Koordinatenmeßsystem wird im weiteren als 3D-Koordinatenmeßgerät (3D-KMG), der notwendige Referenzkörper wird als 3D-Referenz-Vorrichtung, die notwendige Anordnung bestehend aus mindestens einem 3D-Koordinatenmeßgerät und mindestens einer 3D-Referenz-Vorrichtung wird als 3D-Meß-Anordnung und das Verfahren zum Zusammensetzen mehrerer Meßfelder wird als 3D-Koordinatenmeß- bzw. 3D-Rekonstruktions-Verfahren bezeichnet.

Die Anwendung der 3D-Meß-Anordnung und des Verfahrens erfolgt im Sinne der 3D-Meßtechnik. Als Ergebnis der Berechnung wird die 3D-Punktwolke eines Objektes oder einer Szene in Form von 3D-Koordinaten mit Bezug zu einem raumfesten Nullpunkt, das heißt relativ zu einem Bezugs-Koordinatensystem ermittelt. Das Koordinatensystem (KOS) des 3D-Koordinatenmeßgerätes wird als Sensor- bzw.

Geräte-KOS und das raumfeste Bezugs-Koordinatensystem der gesamten 3D-Meß-Anordnung als Referenz-KOS bezeichnet. Die errechnete 3D-Punktwolke kann beispielsweise in einem CAD-/CAE-System zum Zwecke der Flächenrückführung, des Soll-Ist-Vergleiches oder zur Fräsdatengenerierung weiterverarbeitet werden. Insbesondere ist das Verfahren und die Vorrichtung für die mobile Meßtechnik einsetzbar.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur meßtechnischen räumlichen 3D-Lageerfassung von Oberflächenpunkten eines zu vermessenden Objektes sowie eine Vorrichtung zur Verwendung als 3D-Referenz bei der dreidimensionalen Vermessung ausgedehnter Objekte.

Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Erzeugung und Verknüpfung von 3D-Datensätzen mittels 3D-KMG (3D-Rekonstruktions-Verfahren) sowie eine Vorrichtung zur Verwendung als Referenz zur möglichst vollständigen, dreidimensionalen Form- und Strukturerrfassung ausgedehnter Objekte.

Durch die Erfindung werden ein 3D-Rekonstruktions-Verfahren der eingangs angegebenen Art und eine Vorrichtung zur Durchführung eines derartigen Verfahrens geschaffen, mit welchen Objekte und Objektstrukturen mit insbesondere taktilen und/oder optischen 3D-Koordinatenmeßgeräten mit hoher Präzision dreidimensional vermessen werden können, wobei sich die räumliche Anordnung bzw. Stellung vom 3D-KMG zum Objekt ändern kann, um anschließend die Teilansichten paßgenau und global genau zusammenfügen zu können (unter Verwendung einer 3D-Referenz).

Wie erläutert betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Verknüpfung von 3D-Datensätzen und eine 3D-Meß-Anordnung zur vollständigen, dreidimensionalen Formerfassung von Objekten mittels wenigstens einem Koordinatenmeßgerät (Sensor oder Taster) und wenigstens einem Referenzobjekt. Vorzugsweise wird ein Referenzkörper als Träger von Referenzobjekten verwendet. Die Positionen und/oder Abstände der Referenzobjekte im Raum können bekannt oder unbekannt

sein. Teile der Objektoberfläche und die Referenzobjekte können zur Registrierung der gemessenen Objektbereiche benutzt werden.

Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens im Vergleich zu bestehenden Verfahren besteht darin, daß eine hohe Genauigkeit bei der Verknüpfung von Meßfeldern im Überlappungsbereich der Meßfelder und gleichzeitig auch über die Gesamtdimension des Objektes durch eine geringe Anzahl von 3D-Referenzen erreicht wird. Eine Abhängigkeit der Meßergebnisgüte von der Beschaffenheit des Objektes wird somit durch das Verfahren weitestgehend vermieden.

Ein weiterer Vorteil besteht in der vereinfachten Handhabung des Gesamtmeßsystems und der Flexibilität bezüglich unterschiedlicher Objekte. Das Verfahren erlaubt die einfache Vermessung glatter Oberflächen ohne Struktur vor allem von großflächigen Objekten als auch die Vermessung stark-strukturierter Objektbereiche, an denen nur schwierig oder gar keine Referenzen angebracht werden können. Die Vollständigkeit der Objektvermessung ohne Lücken im Datensatz kann voll gewährleistet werden.

Das Verfahren ermöglicht eine hohe Mobilität des Gesamtmeßsystems. Die Referenzkörper sind aufgrund des geringen Gewichtes leicht handhabbar und leicht transportierbar. Trotzdem wird eine hohe Stabilität der Referenzstruktur erreicht.

Insbesondere ist keine Mindestanzahl an Referenzpunkten in den einzelnen Messungen notwendig. Das hat den Vorteil geringerer Kosten und eines geringen Arbeits-, Zeitaufwandes bei der Anbringung und Entfernung der Referenzobjekte. Weiterhin wird die Verdeckung des Objektes auf ein Minimum reduziert.

Das Verfahren ermöglicht insgesamt eine hohe Meßgeschwindigkeit und somit geringe Objektbelegungszeit.

Gemäß der Erfindung kann ein Verfahren angewendet werden, bei dem die vorab bekannten, unbekannten und gemessenen Parameter der Objekte und gegebene

nenfalls Meßpunkte in überlappenden Meßfeldern miteinander verglichen, Transformationen zwischen den Datensätzen berechnet und angewendet werden.

- Die bekannten Parameter der Referenzobjekte im Referenz-KOS werden mit aus Messung ermittelten Parameter im 3D-KMG-KOS verglichen,
- in unterschiedlichen KMG-KOS werden die aus Messungen im Überlappungsbereich der Meßfelder ermittelten Parameter der Referenzobjekte verglichen,
- die Positionen der Meßpunkte auf den Objektoberflächen werden in überlappenden Meßfeldern verglichen,
- insbesondere können mittels numerischer Ausgleichsverfahren aus dem Vergleich Korrespondenzen zwischen den Objekten und/oder den Meßpunkten der Aufnahmen hergestellt werden und Transformationsmatrizen berechnet werden, die ein oder mehrere KMG-KOS in das Referenz-KOS sowie ein KMG-KOS in ein anderes KMG-KOS und damit alle KMG-KOS in das Referenz-KOS transformieren,
- die Transformationsmatrizen werden dazu verwendet, die von einem Meßobjekt mit mindestens einem 3D-KMG im KMG-KOS gemessenen Koordinaten des Objektes in das Referenz-KOS zu überführen.
- Entsprechend einer vorteilhaften Weiterbildung können die Referenzobjekte geometrisch regelmäßig oder unregelmäßig und mathematisch-geometrisch beschreibbar sein, so daß nicht nur deren Position, Mittelpunkt-Koordinate oder Abstände im Raum, sondern auch andere geometrische Parameter, wie Radius, Krümmung u.a. benutzt werden können. Derartige geometrische Parameter können auch aus Beschreibungen der Oberfläche und ihrer Strukturen mit Methoden der Fraktalen Geometrie, der Wavelet-Analyse etc. gewonnen werden.

- 12 -

- Entsprechend einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung können die Referenzobjekte geometrisch regelmäßig oder unregelmäßig sein. Lassen sich die Referenzobjekte mathematisch-geometrisch beschreiben, können deren geometrische Parameter, wie Radius, Krümmung u.a. benutzt werden.
- Es ist möglich, die Meßpunkte in einer oder mehreren Aufnahmen in ihrer Verteilung zu verändern, in der Anzahl zu reduzieren und/oder mehrere Meßpunkte zusammenzufassen. Weiterhin ist es möglich, die gemessene oder veränderte 3D-Punktvolke einer oder mehrerer Aufnahmen in eine Oberflächenbeschreibung (z.B. Dreiecksnetz-Beschreibung, Spline-Flächen-Beschreibung oder dergleichen) zu überführen und als solche weiterzuverwenden.
- Referenzobjekte können ein-, zwei- oder dreidimensional sein, z.B. markierter Punkt, markierte Linie oder Raster, eine Meß- bzw. Signalmarke, eine 3D-Objektstruktur usw.
 - Signalmarken sind z.B. reflektierende und/oder streuende Signalmarken (Meßmarken) mit einer Beleuchtungseinrichtung (auch Sensor selbst) oder lichtemittierende Signalmarken.
 - 3D-Objektstrukturen sind vorteilhafterweise z.B. einzelne, entweder reflektierende und/oder streuende Regelkörper, z.B. Würfel, Kugel, Pyramide, -stumpf. Andere Geometrien sind denkbar.
 - Ebenso können Referenzobjekte durch die Struktur des Objektes, z.B. Bohrungen und Kanten, gegeben sein.
 - Als Referenzobjekte können auch ausgewählte Bereiche oder gemessene Oberflächenpunkte des Meßobjekts selbst benutzt wer-

den. Deren geometrische Parameter können vorgegeben und im Verfahren verwendet werden. Insbesondere kann die räumliche Ausdehnung bzw. Länge eines Meßobjekts in einer oder mehreren Dimensionen bei der Verknüpfung berücksichtigt werden.

- Referenzobjekte können insbesondere bei optischen Meßsystemen durch optische Strukturprojektion, z.B. kreisförmige Marken, Linien und Raster, gegeben sein.
- Außerdem können Referenzobjekte als mathematische, virtuelle, synthetische Modelle in Form eines rechnermäßigen Datensatzes vorliegen und im Verfahren zusätzlich einbezogen werden.
- Vorteilhafterweise kann eine eindeutige Code-Zuweisung (Codierung, Label, Identifikations-Nummer etc.) der verwendeten Referenzobjekte oder Meßpunkte in einer oder mehreren Aufnahmen erfolgen. Insbesondere ist bei Verwendung optischer Strukturprojektion in optischen Meßsystemen die Erfassung von relativ oder inkrementell gemessenen Daten möglich.
- Vorteilhaft können das 3D-Koordinatenmeßgerät selbst – inklusive einem mechanischen Bewegungssystem – und ein möglicherweise vorhandenes mechanisches Objektbewegungssystem während der Registrierung kalibriert oder nachkalibriert werden. Ebenso ist es möglich, unbekannte Positionen der Hilfsobjekte und Referenzobjekte im Raum während des Verfahrens zu bestimmen. Diese in der Position vermessenen Hilfs- und Referenzobjekte können ebenso wie ein formmäßig vermessenes Meßobjekt als Referenzobjekte verwendet werden.
- Vorteilhafterweise können z.B. uncodierte Marken, Kreisringe oder Streifenstrukturen als Hilfs- oder Referenzobjekte verwendet werden. Da das Verfahren Korrespondenzen zwischen gleichen Objekten in sich

- 14 -

überlappenden Meßfeldern herstellt, kann eine eindeutige Code-Zuweisung (Codierung/Label) der verwendeten Objekte erfolgen.

- Es können auch zusätzliche Meßdaten des Meßsystems von Referenzobjekten, Hilfsobjekten oder Meßobjekten bei der Registrierung verwendet werden. Dies können Lichtintensitätsdaten bei optischen Meßsystemen (z.B. Farb-, Schwarz/Weiß-, Video-Bilder von Kameras) oder Bewegungsdaten bei taktilen Meßsystemen (z.B. Auslenkwinkel) sein. Zusatzdaten können jedem räumlichen Oberflächenpunkt zugeordnet werden.
- Besonders vorteilhaft ist, daß die Anzahl der Referenzobjekte nicht beschränkt ist. Zur Transformation des Gesamtdatensatzes in das Referenz-KOS werden insgesamt nicht mehr als 3 Referenzobjekte mit bekannter Position benötigt. In einer Einzelmessung des 3D-KMG gibt es keine vorgeschriebene Mindestanzahl von meßbaren Referenzobjekten. Mit dem Verfahren lassen sich auch Meßfelder ohne Referenzobjekte einbinden.

In einer vorteilhaften Ausführungsform wird eine Vorrichtung als Träger der Referenzobjekte verwendet. Die Vorrichtung ist in diesem Fall vorzugsweise mindestens ein beliebig geformter, 1D-, 2D- oder 3D-Referenzkörper. Der Referenzkörper kann Bauelemente aufweisen, die linienförmig, stabförmig, flächig oder räumlich sein können. Er kann auch aus mehreren dieser Bauelemente aufgebaut oder zusammengesetzt sein. Als Referenzkörper können dadurch 2D- oder 3D-Objektstrukturen entstehen, beispielsweise Linienstrukturen, Gitterstrukturen, Netzstrukturen, polyederartige Strukturen oder andere Strukturen. An dem Referenzkörper bzw. den Bauelementen können die Referenzobjekte angebracht sein. Ferner kann daran mindestens eine Befestigungsvorrichtung angebracht sein. Wenn ein Referenzkörper bzw. ein oder mehrere Bauelemente in geeigneter Weise aufgebaut ist, beispielsweise als Profilkörper mit wechselnder Struktur, so kann dieser Referenzkörper bzw. dieses Bauelement selbst als Referenzobjekt verwendet wer-

den, an dem weitere Referenzobjekte befestigt sein können. Die Referenzobjekte definieren das Referenz-Koordinatensystem. Sie können vorab vermessen sein.

Als Referenzkörper können zusätzlich auch Meßadapter oder Taststifte eingesetzt werden, die sich in einer bestimmten Position zum Meßobjekt oder zu Oberflächenstrukturen befinden können und an denen Referenzobjekte angebracht sein können, beispielsweise in Form von Signalmarken, 3D-Objektstrukturen oder ähnlichem.

Die Referenzkörper bzw. Bauelemente können auch als Prüfkörper zur Überprüfung der Meßergebnisse und zur Überwachung des KMG verwendet werden.

Für die Vermessung eines Objektes kann mindestens ein Referenzkörper mittels einer oder mehrerer Befestigungsvorrichtungen auf dem, vor dem oder zumindest in der Nähe des Objektes befestigt oder aufgestellt werden. Die Vermessung des Objektes kann dann aus unterschiedlichen Richtungen erfolgen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnung erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 ein Meßobjekt und einen Referenzkörper in einer schematischen Seitenansicht,

Fig. 2 den Referenzkörper in einer perspektivischen Ansicht und

Fig. 3 ein weiterer Referenzkörper in einer schematischen Seitenansicht.

In dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel wird wenigstens ein 3D-KMG verwendet, dessen taktiler Taster 1 oder optoelektronischer Sensor 2 die Objektoberflächen 5 und die Referenzobjekte 4, 6 berührend oder berührungslos antastet. Die Oberfläche des Meßobjektes ist mit dem Bezugszeichen 5 versehen. Das Meßobjekt

5 ist mit einem Referenzkörper 3 verbunden, der Referenzobjekte 4 aufweist. Auf dem Meßobjekt sind Referenzobjekte 6 appliziert.

Der in Fig. 2 gezeigte stabförmige Referenzkörper 3 weist verschiedene Referenz- und Hilfsobjekte auf: Meßmarken 12, Meßpunkte 13, Raster 14 und 3D-Objektstrukturen in Form von Pyramidenstümpfen 15. Der taktile Taster 1 oder der optoelektronische Sensor 2 liefern Meßsignale, die von der 3D-Form des Meßobjektes 5 abhängen. Aus den Meßsignalfolgen werden die 3D-Koordinaten der Oberflächenpunkte berechnet. Gegebenenfalls wird eine Einrichtung, insbesondere ein Rechner, zur Digitalisierung und Speicherung der Meßsignalfolgen oder der 3D-Koordinaten, zur Steuerung des Meßablaufes und der Verarbeitung der Meßsignale oder der 3D-Koordinaten verwendet. Sensor 2, Taster 1 oder das 3D-KMG oder das Meßobjekt können im Raum per Hand frei bewegt oder per Mechanik geführt werden; deren Position kann gegebenenfalls vermessen werden. Die in Fig. 1 gezeigte 3D-Meßanordnung besteht aus einem taktilen 3D-Koordinatenmeßgerät 1 oder einem optischen Koordinatenmeßgerät 2 und einem Referenzkörper 3 mit Referenzobjekten 4 sowie einem Meßobjekt 5 mit applizierten Referenz- oder Hilfsobjekten 6.

Der in Fig. 3 gezeigte stabförmige Referenzkörper 3' besteht aus Bauelementen, die eine profilförmige Struktur mit achteckigem Querschnitt 7 aufweisen. Die Bauelemente sind selbst als Referenzobjekte verwendbar. An den Profilstrukturen der Bauelemente sind ferner verschiedene Referenzobjekte angebracht, nämlich Meßmarken 12, Meßpunkte 13 und 3D-Objektstrukturen in Form von Kugeln 15.

Durch die Erfindung wird ein Verfahren zur Erzeugung und Verknüpfung von 3D-Datensätzen zur möglichst vollständigen, dreidimensionalen Form- und Strukturerrfassung von Objekten (3D-Rekonstruktions-Verfahren) geschaffen, bei dem einzelne Objektbereiche gemessen und anschließend mit Bezug zu einem KOS verknüpft werden. Das Verfahren kann in der Weise durchgeführt werden, daß auf dem Meßobjekt und/oder außerhalb des Meßobjektes wenigstens zeitweise in einer fixierten Position zum Objekt Referenzobjekte mit bekannter Position (Lage) und/oder be-

kanntem Abstand im Raum und/oder Hilfsobjekte mit unbekannter Position und unbekanntem Abstand vorhanden sind und daß Teile der Objektoberfläche, die Referenzobjekte und/oder die Hilfsobjekte zur Registrierung der gemessenen Objektbereiche benutzt werden. Die Referenzobjekte und/oder die Hilfsobjekte können geometrisch regelmäßig oder unregelmäßig sein. Sie können mathematisch-geometrisch beschreibbar sein, und deren geometrische Parameter wie Position, Mittelpunkts-Koordinate, Radius, Krümmung und/oder Abstände, können benutzt werden. Teile der Objektoberfläche und/oder die Referenzobjekte und/oder die Hilfsobjekte können während der Registrierung zur Kalibrierung des Meßsystems und/oder zur Kalibrierung eines oder mehrerer mechanischer Objektbewegungssysteme benutzt werden. Vorzugsweise erfolgt während der Registrierung eine eindeutige Code-Zuweisung (Codierung/Label) der verwendeten Referenzobjekte. Die Referenzobjekte und/oder Hilfsobjekte können durch die Struktur des Objektes, z.B. Bohrungen und/oder Kanten oder dergleichen, gegeben sein. Die Referenzobjekte und/oder Hilfsobjekte können bei optischen Meßsystemen durch optische Strukturprojektion, z.B. kreisförmige Marken, Linien und/oder Raster, gegeben sein. Eine Erfassung von relativ und inkrementell gemessenen Daten ist möglich. Die Referenzobjekte können als mathematische, virtuelle, synthetische Modelle/Datensatz vorliegen und zur Registrierung benutzt werden. Dies gilt auch für ein vermessenes Referenz- bzw. Masterteil. Es ist möglich, vermessene Hilfsobjekte und/oder vermessene Meßobjekte als Referenzobjekte zu verwenden. Es ist möglich, zusätzliche Meßdaten des Meßsystems von Referenzobjekten, Hilfsobjekten und/oder Meßobjekten bei der Registrierung zu verwenden, z.B. Lichtintensitätsdaten bei optischen Meßsystemen (Farb-, Schwarz/Weiß-, Video-Bilder von Kameras) oder Bewegungsdaten bei taktilen Meßsystemen (Auslenkwinkel).

Durch die Erfindung wird ferner eine Vorrichtung geschaffen, mit der das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt werden kann. Die Vorrichtung ist vorzugsweise dadurch gekennzeichnet, daß auf dem Meßobjekt und/oder außerhalb des Meßobjektes wenigstens zeitweise in einer fixierten Position zum Objekt Referenzobjekte und/oder Hilfsobjekte vorhanden sind und daß wenigstens ein mechanisch-taktil oder optisch-berührungslos messendes 3D-Koordinatenmeßgerät die

Oberflächenkoordinaten von Meßobjekt und/oder Referenzobjekt und/oder Hilfsobjekt (in unterschiedlichen, einzelnen Objektbereichen) ermittelt. Dabei können die oben zum Verfahren erläuterten vorteilhaften Weiterbildungen verwendet werden. Eine vorteilhafte Weiterbildung ist dadurch gekennzeichnet, daß Referenzobjekte und/oder Hilfsobjekte auf wenigstens einem beliebig geformten Referenzkörper befestigt und verwendet werden. Der Träger des Referenzkörpers kann auch das Meßobjekt selbst sein. Vorzugsweise ist der Referenzkörper eine 1D-, 2D- oder 3D-Struktur. Er enthält vorzugsweise im wesentlichen wenigstens ein Bauelement in Linienstruktur oder Gitterstruktur, auf dem Hilfsobjekte und/oder Referenzobjekte angebracht sind. Vorzugsweise ist am Referenzkörper eine Befestigungsvorrichtung angebracht. Vorteilhaft ist es, wenn mindestens ein solcher Referenzkörper mittels der Befestigungsvorrichtung auf dem, vor dem oder zumindest in der Nähe des Objektes befestigt oder aufgestellt wird.

Es ist möglich, während oder nach der Registrierung eine eindeutige Code-Zuweisung (Codierung/Label) der verwendeten Referenzobjekte vorzunehmen. Vorzugsweise werden Korrespondenzen zwischen den Referenzobjekten hergestellt. Es ist ferner möglich, daß zusätzliche Meßdaten des Meßsystems von dem Objekt und/oder von dem oder den Referenzobjekten bei der Registrierung verwendet werden, z.B. Lichtintensitätsdaten bei optischen Meßsystemen (beispielsweise Farbbilder, Schwarz-Weiß-Bilder oder Video-Bilder von Kameras) oder Bewegungsdaten bei taktilen Meßsystemen (Auslenkwinkel).

Vorteilhaft ist es, wenn Teile des Objekts und/oder das oder die Referenzobjekte während oder nach der Registrierung zur Bestimmung geometrischer Parameter des Objekts verwendet werden. Hierdurch können geometrische Parameter der Objekte während des Verfahrens direkt berechnet werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht ferner eine gleichzeitige Überprüfung der Meßergebnisse, insbesondere hinsichtlich der (lokalen und globalen) Genauigkeit etc., und somit eine Überwachung des KMG. Das oder die Referenzobjekte bzw. der Referenzkörper kann dabei als Prüfkörper verwendet werden. Dement-

- 19 -

sprechend ist es möglich, die Meßergebnisse zu überprüfen, wobei das oder die Referenzobjekte vorzugsweise als Prüfkörper verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen der 3D-Form eines Objektes,

bei dem mehrere Bereiche des Objektes (5) gemessen werden,

wobei bei mindestens einer Messung mindestens ein Referenzobjekt (4) gemessen wird,

und bei dem die gemessenen Bereiche des Objekts (5) miteinander verknüpft werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich das oder die Referenzobjekte (4) auf dem Objekt (5) und/oder außerhalb des Objekts befinden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Referenzobjekte durch die Struktur des Objekts (5), z.B. Bohrungen und/oder Kanten und/oder Flächen und/oder dergleichen, gegeben sind.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Referenzobjekte (4) auf einem Referenzkörper (3) vorgesehen sind, der durch eine Befestigungsvorrichtung mit dem Objekt (5) verbindbar ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Referenzobjekte geometrisch regelmäßig oder unregelmäßig sind.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Referenzobjekte mathematisch, geometrisch beschreibbar sind und daß deren geometrische Parameter wie Position, Mittelpunkt-Koordinate, Radius, Krümmung und/oder Abstände und/oder dergleichen, benutzt werden.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Teile des Objekts bzw. der Objektoberfläche und/oder das oder die Referenzobjekte während oder nach der Registrierung zur Kalibrierung des Meßsystems benutzt werden.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Teile des Objekts bzw. der Objektoberfläche und/oder das oder die Referenzobjekte während oder nach der Registrierung zur Kalibrierung eines oder mehrerer mechanischer Objektbewegungssysteme benutzt werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß während oder nach der Registrierung eine eindeutige Code-Zuweisung (Codierung/Label) der verwendeten Referenzobjekte erfolgt.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß Korrespondenzen zwischen den Referenzobjekten hergestellt werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Referenzobjekte bei optischen Meßsystemen durch optische Strukturprojektion, z.B. kreisförmige Marken, Linien, Raster oder dergleichen, gegeben sind.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Referenzobjekte als mathematische, virtuelle, synthetische Modelle oder als entsprechender Datensatz vorliegen und zur Registrierung benutzt werden.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzliche Meßdaten des Meßsystems von dem Objekt und/oder von dem oder den Referenzobjekten bei der Registrierung verwendet werden.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Teile des Objekts und/oder das oder die Referenzobjekte während oder nach der Registrierung zur Bestimmung geometrischer Parameter des Objekts verwendet werden.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßergebnisse überprüft werden, wobei das oder die Referenzobjekte vorzugsweise als Prüfkörper verwendet werden.
16. Vorrichtung zum Bestimmen der 3D-Form eines Objekts (5), umfassend

ein 3D-Koordinatenmeßgerät (3D-KMG),

mindestens ein Referenzobjekt (4)

und einen Rechner zum Verknüpfen der gemessenen Bereiche des Objekts (5).

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß sich das oder die Referenzobjekte auf dem Objekt und/oder außerhalb des Objekts befinden.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Referenzobjekte (4) auf einem Referenzkörper (3) vorgesehen sind, der durch eine Befestigungsvorrichtung mit dem Objekt (5) verbindbar ist.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Referenzobjekte geometrisch regelmäßig oder unregelmäßig sind.
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Referenzobjekte mathematisch-geometrisch beschreibbar sind und daß deren geometrische Parameter wie Position, Mittelpunkt-Koordinate, Radius, Krümmung und/oder Abstände und/oder dergleichen, benutzt werden.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 20, gekennzeichnet durch ein vorzugsweise mechanisches Objektbewegungssystem.
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Referenzobjekte durch optische Strukturprojektion, z.B. kreisförmige Marken, Linien, Raster oder dergleichen, gegeben sind.
23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Referenzobjekte durch einen oder mehrere optische Strukturprojektoren erzeugt werden.

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 23, gekennzeichnet durch Meßsystemkomponenten zum Ermitteln von zusätzlichen Meßdaten von Referenzobjekten und/oder Meßobjekten.
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß der Referenzkörper eine 1D-, 2D- oder 3D-Struktur ist und vorzugsweise im wesentlichen wenigstens ein Bauelement in Linienstruktur oder Gitterstruktur oder dergleichen enthält, auf dem ein oder mehrere Referenzobjekte angebracht sind.

1/1

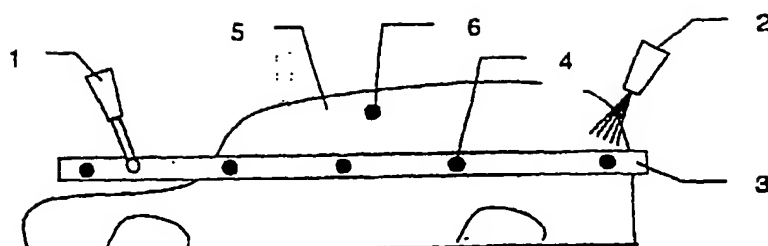


Fig. 1

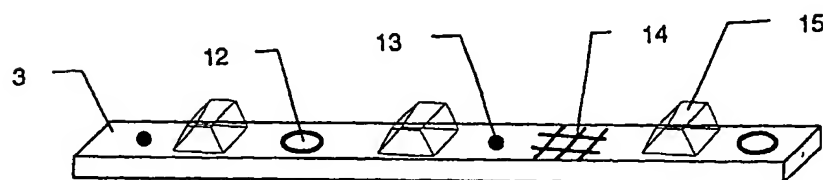


Fig. 2

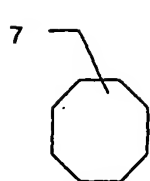
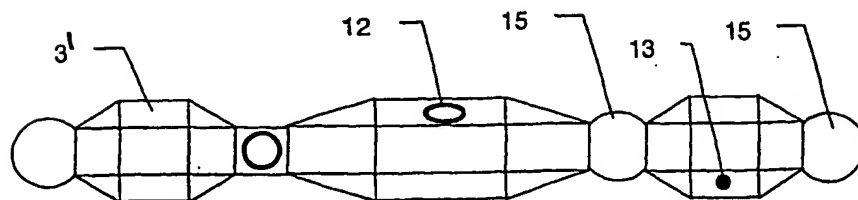


Fig. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 01/05598

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01B11/00 G01B21/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 805 289 A (CORBY JR NELSON RAYMOND ET AL) 8 September 1998 (1998-09-08)	1,2,4-8, 10-20, 22-25
Y	the whole document	3
A	---	9,21
X	DE 198 40 334 A (DAIMLER CHRYSLER AG) 5 August 1999 (1999-08-05) cited in the application column 2, line 46 -column 6, line 67; figures 1-4	1,2,5,7, 8,13,14, 16-19,25
X	DE 195 36 294 A (DAIMLER BENZ AG) 3 April 1997 (1997-04-03) cited in the application column 4, line 41 -column 4, line 63; figure 2	1,2,5,7, 8,11,13, 14,16, 17,19,21

	---/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 August 2001

Date of mailing of the international search report

31/08/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Beyfuß, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Patent Application No.

PCT/EP 01/05598

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 196 13 978 A (GOM GES FUER OPTISCHE MESTECHN) 16 October 1997 (1997-10-16) column 1, line 19 -column 1, line 45 -----	1,2,5,7, 8,11,13, 14,16, 17,19, 22,23
X	US 5 978 521 A (MICHAEL DAVID J ET AL) 2 November 1999 (1999-11-02) column 5, line 21 -column 6, line 27 column 7, line 8 -column 7, line 17; figures 1,2 -----	1,2,5, 7-9,13, 14,16, 17,19
Y	US 5 267 143 A (PRYOR TIMOTHY R) 30 November 1993 (1993-11-30) column 5, line 36 -column 5, line 42 -----	3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/EP 01/05598

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5805289	A	08-09-1998	US 5867273 A	02-02-1999
DE 19840334	A	05-08-1999	AU 3246799 A	16-08-1999
			WO 9939158 A	05-08-1999
			EP 1053449 A	22-11-2000
DE 19536294	A	03-04-1997	NONE	
DE 19613978	A	16-10-1997	NONE	
US 5978521	A	02-11-1999	WO 9915854 A	01-04-1999
US 5267143	A	30-11-1993	US 4851905 A	25-07-1989
			US 5455765 A	03-10-1995
			US 5615108 A	25-03-1997
			US 5828566 A	27-10-1998
			US 5696673 A	09-12-1997
			US 5721677 A	24-02-1998

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 01/05598

A. KLASSTIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 601B11/00 601B21/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 601B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 805 289 A (CORBY JR NELSON RAYMOND ET AL) 8. September 1998 (1998-09-08)	1, 2, 4-8, 10-20, 22-25
Y	das ganze Dokument	3
A	---	9, 21
X	DE 198 40 334 A (DAIMLER CHRYSLER AG) 5. August 1999 (1999-08-05) in der Anmeldung erwähnt Spalte 2, Zeile 46 -Spalte 6, Zeile 67; Abbildungen 1-4	1, 2, 5, 7, 8, 13, 14, 16-19, 25
X	DE 195 36 294 A (DAIMLER BENZ AG) 3. April 1997 (1997-04-03) in der Anmeldung erwähnt Spalte 4, Zeile 41 -Spalte 4, Zeile 63; Abbildung 2	1, 2, 5, 7, 8, 11, 13, 14, 16, 17, 19, 21

	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

23. August 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

31/08/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Beyfuß, M

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 196 13 978 A (GOM GES FUER OPTISCHE MESTECHN) 16. Oktober 1997 (1997-10-16) Spalte 1, Zeile 19 -Spalte 1, Zeile 45 ----	1,2,5,7, 8,11,13, 14,16, 17,19, 22,23
X	US 5 978 521 A (MICHAEL DAVID J ET AL) 2. November 1999 (1999-11-02) Spalte 5, Zeile 21 -Spalte 6, Zeile 27 Spalte 7, Zeile 8 -Spalte 7, Zeile 17; Abbildungen 1,2 ----	1,2,5, 7-9,13, 14,16, 17,19
Y	US 5 267 143 A (PRYOR TIMOTHY R) 30. November 1993 (1993-11-30) Spalte 5, Zeile 36 -Spalte 5, Zeile 42 -----	3

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/05598

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5805289 A	08-09-1998	US 5867273 A	02-02-1999
DE 19840334 A	05-08-1999	AU 3246799 A	16-08-1999
		WO 9939158 A	05-08-1999
		EP 1053449 A	22-11-2000
DE 19536294 A	03-04-1997	KEINE	
DE 19613978 A	16-10-1997	KEINE	
US 5978521 A	02-11-1999	WO 9915854 A	01-04-1999
US 5267143 A	30-11-1993	US 4851905 A	25-07-1989
		US 5455765 A	03-10-1995
		US 5615108 A	25-03-1997
		US 5828566 A	27-10-1998
		US 5696673 A	09-12-1997
		US 5721677 A	24-02-1998